

Untersuchungen über das Höhenwachstum der Wirbelkörper bei Jugendlichen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät der Universität
Zürich

Vorgelegt von:
Franz-Xaver Schwytzer
Luzern

1977

Luzern, im Oktober 1975

Curriculum vitae

Ich wurde am 19. November 1946 in Luzern geboren. Hier besuchte ich an der Kantonsschule das Gymnasium und bestand im Sommer 1966 die Matura (Typus B). Das Medizinstudium absolvierte ich an der Universität Bern. Im Frühjahr 1973 schloss ich mit dem Staatsexamen ab. Meine Assistentenzeit begann ich im Januar 1974 am Pathologischen Institut des Kantonsspitals Luzern. Hier schrieb ich bei Herrn Prof. Dr. med. M. Aufdermaur meine Dissertation. An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Aufdermaur für das umfangreiche Material, das er mir zur Verfügung gestellt hat, sowie für seine unermüdliche Unterstützung meinen herzlichen Dank aussprechen. Zur Zeit arbeite ich als Assistenz-Arzt an der Medizinischen Klinik des Kantonsspitals Luzern.



Untersuchungen über das Höhenwachstum der Wirbelkörper bei Jugendlichen¹

Franz-Xaver Schwytzer

Pathologisches Institut des Kantonsspitals, Luzern, Schweiz

Key words. Vertebral bodies · Microscopic measurements · Differences between cranial and caudal growth zone

Abstract. The height of the vertebral growth zones of 13 adolescents dying between the ages of 13 and 18 years was determined with the aid of an eyepiece micrometer. In addition, the proportion 'total of widths of chondrocyte columns/diameter of the growth zone' was established. In the cervical spine, the growth zones of the caudal end plates were significantly higher than those of the cranial end plates. The reverse was true for the thoracic vertebrae. In the lumbar spine, however, conditions resembled those found in the cervical spine in that the caudal end plates were higher than those of the cranial plates; yet, there was no statistically significant difference in the relative quota 'chondrocyte columns/diameter of growth zone' in this segment of the spine.

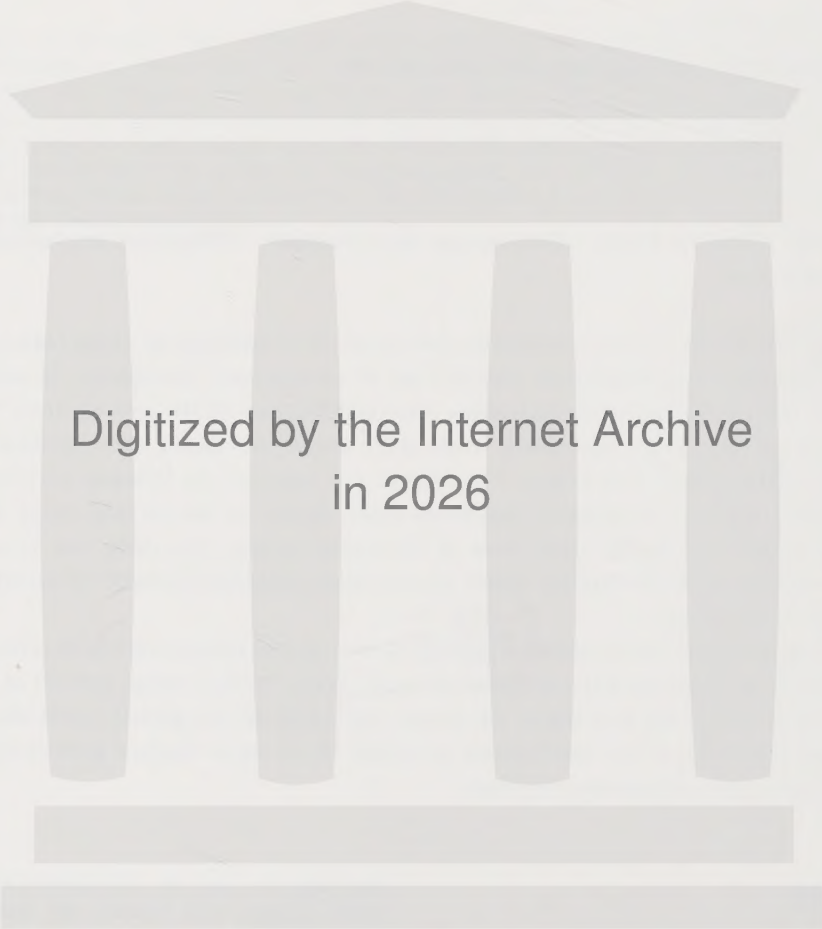
These results suggest that lengthwise growth of cervical and lumbar vertebrae is more marked in the caudal than in the cranial end plates, whereas, in the thoracic spine, growth of the cranial exceeds that of the caudal end plates. Moreover, the height of the growth zones increases in a craniocaudal direction, a fact which could be related to the more marked growth of lumbar as compared to cervical or thoracic vertebrae.

Einleitung

Die Höhenzunahme der Wirbelkörper erfolgt in der Wachstumszone der knorpeligen Abschlussplatten [Haas, 1939a, b]. Das Wirbelkörperwachstum nimmt von kranial nach kaudal zu [Schmorl, 1968]. Arnold [1959] misst aufgrund von radiologischen Untersuchungen an Halswirbelkörpern der Grundplatte keine

Bedeutung zu, nur der Deckplatte. Nach Knutson [1968] hingegen sind Grund- und Deckplatten am Wachstum in gleicher Weise beteiligt. Moser [1960] hat 95 Schnittpräparate von kindlichen Lendenwirbelkörpern mikroskopisch ausgemessen und stellte fest, dass die Knorpelwucherungszonen der Deckplatten höher sind als die der Grundplatten, ferner, dass sie ventral jeweils höher sind als dorsal. Nach operativer Zerstörung der Wachstumszonen von Schweinen und nach künstlicher Aufquellung der Bandscheibe mittels Glycerininjektionen beobachtete Moser eine Wachstumshemmung der Deck-, nicht aber der Grundplatten

¹ Inauguraldissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät der Universität Zürich.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

von Lendenwirbelkörpern. Weitere Untersuchungen wurden an Wirbelsäulen von Hunden, Kaninchen und anderen Versuchstieren durchgeführt. Bei mechanischer oder radiologischer Zerstörung der Knorpelplatte auf der rechten oder der linken Seite des Wirbelkörpers war hier ein Wachstumsausfall zu beobachten; es stellte sich mit der Zeit eine Verkrümmung der Wirbelsäule mit Konkavität auf der Seite des Eingriffs ein [Haas, 1939b; Arkin und Simon, 1950; Nachlas und Borden, 1950; Pacher, 1960; Wittek, 1960]. Im Gegensatz zu Moser [1960] haben diese Autoren ihr Augenmerk nur auf die Wachstumspotenz der Knorpelplatte und die Entstehung der Skoliose, nicht aber auf ein unterschiedliches Verhalten der Deck- und Grundplattenwachstumszone gerichtet. Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Beitrag zum Problem des Wachstums der menschlichen Wirbelsäule geleistet werden.

Eigene Untersuchungen

Untersuchungsgut

13 Wirbelsäulen von Jugendlichen im Alter von 13–18 Jahren wurden untersucht, 6 davon vollständig, 7 ohne Halsabschnitt. Nach dem Herauspräparieren wurden die Wirbelsäulen sagittal aufgesägt, beide Hälften seitlich geröntgt und formalinfixiert. Für die Histologie wurden die Bandscheiben mit der jeweiligen Hälfte des kranialen und kaudalen Wirbelkörpers in 2–3 mm dicke Scheiben zersägt. Diese Präparate haben wir mit 5%iger Salpetersäure oder mit EDTA entkalkt und in Gelatine eingebettet.

Pro Bewegungssegment [Schmorl, 1968] wurden jeweils zwei *Gelatineblöcke* angefertigt, nämlich je einer von jeder Wirbelsäulenhälfte. Von allen diesen Blöcken lagen 1–10 van-Gieson- und ebenso viele Hämalaun-Eosin-Schnitte vor. Wir haben nur die van-Gieson-Präparate ausgemessen, weil diese die Wachstumszonen besonders deutlich aufzeigen. Es waren total 362 van-Gieson-gefärbte *Schnittpräparate* verwertbar. Davon konnten 346 für Höhenmessungen und von diesen

wiederum 169 für die Bestimmung des prozentualen Anteils der Chondronbreiten am Abschlussplattendurchmesser (vgl. «Bestimmung der Grösse der Wachstumszone», p. 3) verwendet werden. Für die zweite Messart unbrauchbar waren Schnitte mit unvollständigen Knorpelplatten sowie solche mit Knorpelplattenunterbrechungen und Bandscheiben-einbrüchen in den Wirbelmarkraum. Die Ossifikationslücken – das sind in der Wachstumszone gelegene, mikroskopisch kleine, kernlose Herde unklarer Ätiologie [Aufdermaur, 1964, 1973] – waren hingegen kein Hindernis für unsere Untersuchungen. In den Fällen mit mehreren, praktisch identischen Schnitten des gleichen Gelatineblocks haben wir pro Block den Durchschnitt der einzelnen Werte errechnet. Bei der Auswertung wurden somit nicht die Messresultate der einzelnen Schnitte, sondern für jede Grund- und Deckplatte der jeweilige Blockmittelwert verwendet. Das waren insgesamt 210 *Mittelwerte* von Höhenmessungen sowie 137 Bestimmungen des Prozentanteils der Chondrone am Abschlussplattendurchmesser.

Bestimmung der Grund- und Deckplatten

Ventraler und dorsaler Wirbelkörper sind auf den Schnittpräparaten in der Regel mühelos zu bestimmen. Nicht ohne weiteres möglich ist dagegen die Unterscheidung von Grund- und Deckplatten. Beim Vergleich der Schnittpräparate mit den entsprechenden Intervertebrälräumen der Röntgenaufnahmen ist auch diese Bestimmung in einem grossen Teil der Fälle möglich: Man achtet auf den Verlauf der Abschlussplatten (Eindellungen, Unterbrechungen), auf die ventralen Wirbelkörperperränder und -kanten, auf die Beschaffenheit der Randleisten sowie auf abnorme Befunde wie Einbrüche von Bandscheibenmaterial in den Wirbelmarkraum mit Randsklero-



Abb. 1. Knorpelige Grundplatte (G) und Deckplatte (D) mit Wachstumszonen (WZ) des 12. Brust-

bzw. des 1. Lendenwirbels mit Zwischenwirbelscheibe eines 15jährigen Knaben. SN 20/74. Van Gieson. $\times 2,2$.

se. Diese Bestimmungen wurden, um unbeeinflusst ausmessen zu können, erst nachträglich durchgeführt und zwar jeweils dreimal, im Abstand von einigen Tagen bis Wochen, sowie zusätzlich durch einen zweiten Beobachter. Wir haben die Schnitte nur bei übereinstimmenden Ergebnissen weiter ausgewertet.

Beschreibung der Präparate

Makroskopisch begrenzen in den Schnittpräparaten die Deck- und Grundplatten die Zwischenwirbelscheibe. Die Wachstumszonen sind im van-Gieson-Präparat als schmale, hellgelbe Streifen zwischen knorpeliger und knöcherner Abschlussplatte eingeschaltet (Abb. 1).

Mikroskopisch ist die Wachstumszone vom ruhenden Knorpel scharf abgegrenzt. Sie umfasst die Knorpelwucherungsschicht, in der vor allem das Höhenwachstum des Wirbelkörpers stattfindet [Bucher, 1973; Pliess, 1974; Aufdermaur, 1975]. Diese Zone besteht aus Gruppen von dicht bei- und übereinander liegenden, kleinen, etwas abgeplatteten Zellen.

Wirbelkörperwärts geht sie in den Säulenknorpel über, einer Schicht aus reihenförmig angeordneten, grossen Zellen mit degenerativen Veränderungen. Die Zwischensubstanz zwischen den Zellgruppen besteht aus Faserlamellen und hyaliner Grundsubstanz.

In der Säulenknorpelschicht sind die Zellen meistens etwas gegeneinander verschoben, wodurch ovaläre, tropfen- oder dreieckförmige Zellgruppen zustande kommen (Chondrone), die von kollagenen Faserzügen umschlossen sind [Aufdermaur, 1973, 1974]. Diese Zellgruppen umfassen teils nur wenige, teils aber mehrere Dutzend Zellen. Dadurch sind sie von recht unterschiedlicher Höhe und Breite (Abb. 2). Die Grenze zum Wirbelknochen bildet die präparatorische Verkalkungszone.

Bestimmung der Grösse der Wachstumszone

Am aufschlussreichsten wäre wohl die Auszählung der übereinanderliegenden Knorpelzellen. Diese Methode wäre aber infolge der meist unregelmässigen Anordnung der Zellen nicht sehr genau. Der erhebliche Zeitaufwand

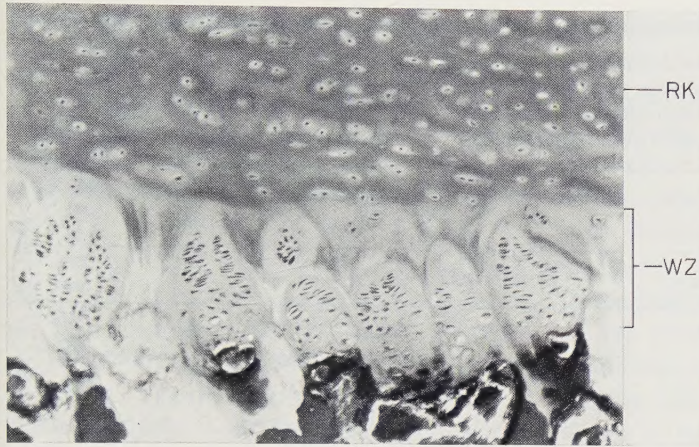


Abb.2. Gleicher Fall wie Abbildung 1. Knorpelplatte mit Wachstumszone des Bewegungssegmentes Th8/9. RK = Ruhender Knorpel; WZ = Wachstums-

zone mit Knorpelzellgruppen (Chondrone). Van Gieson. $\times 101$.

würde sich somit nicht lohnen. Deshalb haben wir die Höhe sowie die Breite der Chondrone in den Wachstumszonen mit einem Zeiss-Messokular bei einer 60fachen Vergrößerung ausgemessen.

Bestimmung des prozentualen Anteils der Summe der Chondronbreiten am Abschlussplattendurchmesser. Die Wachstumszone erscheint in den sagittalen Schnittpräparaten als schmaler Streifen (Abb.1). Sie besteht aus Zellgruppen (Chondronen) und Zwischensubstanz. Wir haben den prozentualen Anteil der Chondrone am Knorpelplattendurchmesser berechnet. Ein relativer Wert wurde gewählt wegen der Grössenzunahme der Wirbelkörper in kraniokaudaler Richtung. Vorerst haben wir mit einem Massstab auf den Schnittpräparaten den Abschlussplattendurchmesser bestimmt und dabei Unregelmässigkeiten der Randleisten sowie Einbuchtungen der Knorpelplatten in die Wirbelspongiosa miteinbezogen. Anschliessend haben wir mikroskopisch die Breite der einzelnen Knorpelzellgruppen (20–200 μm , zum Teil auch bedeutend mehr)

bestimmt und diese Werte zusammengezählt. Am Schluss wurde errechnet, wieviele Prozente diese Summe am ventrodorsalen Abschlussplattendurchmesser ausmacht.

Höhenmessung der Wachstumszone. Bei jeder Wachstumszone wurde die Höhe von ungefähr 15–25 Knorpelzellgruppen gemessen und daraus der Durchschnitt errechnet. Dabei haben wir jeweils von den basalsten, grossbläsigen Knorpelzellen bis zur Spitze der Chondrone gemessen (Abb.2). Im Schnittpräparat findet man oft zwischen ruhendem Knorpel und Zellsäulen gelegene, einzelstehende Knorpelzellen oder kleine Zellgruppchen. Diese haben wir nicht in die Messungen einbezogen. Die Höhenwerte der einzelnen Chondrone schwankten zwischen 70 und 200 μm . Seltene Extremwerte waren 20 bzw. 350 μm .

Ergebnisse

In den Wachstumszonen der Wirbelkörper haben wir die Höhe sowie den prozentualen Anteil der Summe der Chondronbreiten am

Tabelle I. Ergebnisse der Höhenmessungen und der Bestimmung des Anteiles der Zellgruppen am Knorpelplattendurchmesser

	Anzahl Wirbelsegmente mit unterschiedlicher oder gleicher Grösse von D und G						Mittelwerte der D und G in den verschiedenen Wirbelsäulenabschnitten			
	Prozentanteil ¹			Höhenmessung			Prozentanteil ¹ %		mittlere Höhe µm	
	D>G	D=G	G>D	D>G	D=G	G>D	D	G	D	G
Halsabschnitt ventral-konvex	6	–	29	5	–	37	30,60 (p<0,001)	35,20 (p<0,001)	109,7 (p<0,001)	118,5 (p<0,001)
Oberes gerades Übergangsstück	1	–	8	3	1	8	28,33 (0,01<p<0,05)	33,41 (0,01<p<0,05)	107,8 (0,01<p<0,05)	121,9 (0,01<p<0,05)
Brustabschnitt dorsal-konvex	39	–	11	83	1	17	30,62 (p<0,001)	25,01 (p<0,001)	138,3 (p<0,001)	125,6 (p<0,001)
Unteres gerades Übergangsstück	16	–	8	17	1	11	33,33 (p>0,05)	30,86 (p>0,05)	134,2 (p>0,05)	129,4 (p>0,05)
Lendenabschnitt ventral-konvex	5	–	14	3	1	22	35,75 (p>0,05)	38,55 (p>0,05)	133,6 (0,001<p<0,01)	142,6 (0,001<p<0,01)
Totale Anzahl Wirbelsegmente	137			210			–		–	

D = Deckplattenwachstumszone; G = Grundplattenwachstumszone. p<0,05 = statistisch signifikant, p>0,05 = nicht signifikant.

¹ Prozentanteil: prozentualer Anteil der Summe aller Chondronbreiten am ventrodorsalen Abschlussplatten-durchmesser.

ventrodorsalen Wirbelkörperdurchmesser bestimmt (siehe oben). Die Werte der Grundplattenwachstumszone des kranialen und der Deckplattenwachstumszone des kaudalen Wirbelkörpers eines Bewegungssegmentes wurden miteinander verglichen (Abb. 1). Die Messergebnisse sind in der Tabelle I zusammengefasst: Die Höhenmessung und die Bestimmung des prozentualen Anteils der Chondrone sind getrennt angeführt. Auf der linken Seite der Tabelle I ist festgehalten, wie oft in den verschiedenen Abschnitten der Wirbelsäule die Wachstumszonen der Deckplatten

grösser, gleich gross oder kleiner sind als die der Grundplatten, und zwar unabhängig von der Grösse des Unterschiedes. Auf der rechten Hälfte der Tabelle I sind die Mittelwerte aller Höhenmessungen und die mittleren Prozentanteile der Chondrone am Knorpelplattendurchmesser eines bestimmten Wirbelsäulenabschnittes aufgeführt. Die mittlere Höhe beträgt in den verschiedenen Bezirken 107,8–142,6 µm. Der prozentuale Anteil der Summe aller Chondronbreiten am Abschlussplatten-durchmesser macht je nach Wirbelsäulenabschnitt zwischen 25,01 und 38,55% aus.

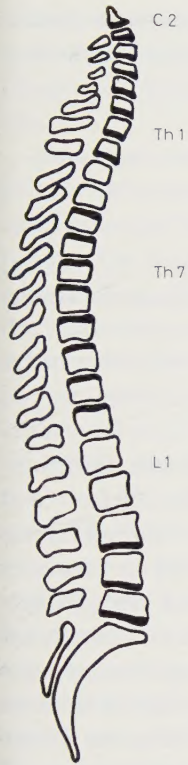


Abb. 3. Die physiologischen Krümmungen der Wirbelsäule. Die Wachstumszonen sind in der *ventral-konvexen* Hals- und Lendenwirbelsäule in den *Grundplatten* kräftiger als in den *Deckplatten*, im *dorsal-konvexen* Brustabschnitt in den *Deckplatten* kräftiger ausgebildet als in den *Grundplatten*.

Die Tabelle I ist nach den physiologischen Biegungen der Wirbelsäule in der Sagittalebene aufgebaut (Abb. 3). In den seitlichen Röntgenaufnahmen erstreckt sich die ventral-konvexe Krümmung der Halswirbelsäule von C 1 bis zum Zwischenwirbelraum C7/Th1, Th1/2 oder Th2/3. Es folgt das obere gerade Übergangsstück über einen oder zwei Intervertebralaräume im Gebiet von Th1/2 bis Th4/5. Die dorsal-konvexe Biegung des Brustabschnittes erstreckt sich zwischen Th2/3–Th5/6

und Th8/9–Th10/11. Das untere gerade Übergangsstück umfasst ein bis drei Intervertebralaräume zwischen Th9/10 und L1/2. Die ventral-konvexe Krümmung der Lendenwirbelsäule schliesslich erstreckt sich von Th12/L1–L2/3 an abwärts bis zum Promontorium.

Im Bereich der ventral-konvexen Biegungen (Hals- und Lendenabschnitt) sowie im oberen geraden Übergangsstück zeigen sowohl bei der Bestimmung des Prozentanteils der Chondrone am Abschlussplattendurchmesser als auch bei der Höhenmessung die Grundplatten 3- bis 8mal häufiger einen grösseren Wert als die Deckplatten (linke Hälfte der Tabelle I). Dabei sind die Prozentanteile in den Grundplatten im Mittel um 4,6 bzw. 2,8 bzw. 5,1% grösser und die Chondrone um 8,8 bzw. 9,0 bzw. 14,1 μm höher als in den Deckplatten (rechte Hälfte der Tabelle I). Umgekehrt sind im dorsal-konvexen Brustabschnitt und im unteren geraden Übergangsstück die Deckplattenwachstumszonen 1,5–5mal so oft grösser als die Wachstumszonen der Grundplatten. Die Mittelwerte der Deckplattenwachstumszonen sind in diesem Wirbelsäulenbereich bei der Bestimmung des Prozentanteils der Chondrone um 5,6 bzw. 2,5% und bei der Höhenmessung um 12,7 bzw. 4,8 μm grösser als die der Grundplatten (Tab. I).

Bei der Bestimmung des prozentualen Anteils der Chondronbreiten am Abschlussplattendurchmesser lässt sich eine entsprechende Grössenzunahme von zervikal bis lumbal nicht beobachten.

Die *statistische Relevanz* der Differenzen zwischen Deck- und Grundplattenwachstumszonen wurde mit Hilfe des t-Testes geprüft².

² Die statistische Auswertung übernahm Herr Dr. H. Berchtold, Biostatistisches Zentrum der Medizinischen Fakultät der Universität Zürich (Vorsteher: Prof. Th. Marthaler). Für seine Bemühungen möchte ich auch an dieser Stelle bestens danken.

Ferner nimmt die Höhe der Wachstumszone von kranial nach kaudal zu, wenn man jeweils den grösseren (linke Kolonne), den

kleineren (mittlere Kolonne) sowie den Durchschnitt der beiden Höhenwerte (rechte Kolonne) berücksichtigt:

Zervikal; μm :	G = 118,5	D = 109,7	Durchschnitt = 114,1
Thorakal; μm :	D = 138,3	G = 125,6	Durchschnitt = 131,9
Lumbal; μm :	G = 142,6	D = 133,6	Durchschnitt = 138,1

D = Mittelwert der Deckplattenwachstumszone eines Wirbelsäulenabschnittes; G = Mittelwert der Grundplattenwachstumszone eines Wirbelsäulenabschnittes (vgl. Tab. I).

Der Grad der Signifikanz der Grössenunterschiede ist in der Tabelle I jeweils in Klammern unter den entsprechenden Zahlenpaaren angegeben. Hoch signifikant ($p < 0,001$) sind die Ergebnisse sowohl bei der Höhenmessung als auch bei den Prozentanteilen der Chondrone im Hals- und Brustabschnitt sowie bei der Höhenmessung im Lendenbereich ($0,001 < p < 0,01$). Die beiden Übergangsstücke zeigen statistisch weniger (oberes Übergangsstück: $0,01 < p < 0,05$) bzw. nicht relevante Grössenunterschiede (unteres Übergangsstück: $p > 0,05$). Nicht signifikant sind auch die Differenzen der Prozentanteile in der Lendenwirbelsäule.

Diskussion

Zur Abklärung der Verhältnisse, die mit dem Höhenwachstum der Wirbelkörper in Zusammenhang stehen, haben wir die Wachstumszonen eines Bewegungssegmentes [Schmorl, 1968] miteinander verglichen. Von einer Gegenüberstellung der Messergebnisse von Grund- und Deckplatte desselben Wirbelkörpers haben wir abgesehen, da zwischen den durch die Bandscheibe voneinander getrennten Knorpelplatten zweier benachbarter

Wirbelkörper engere funktionelle Beziehungen bestehen als zwischen den Grund- und Deckplatten des gleichen Wirbelkörpers. Demgegenüber hat Moser [1960] die kranialen und kaudalen Wachstumszonen eines Wirbelkörpers miteinander verglichen. Ferner hat dieser Autor nur die Knorpelwucherschicht ausgemessen, währenddem in der vorliegenden Arbeit die ganze Höhe der Chondrone bestimmt wurde (vgl. «Höhenmessung der Wachstumszone», p. 3, sowie Abbildung 2). Schliesslich umfasst das Untersuchungsgut von Moser Autopsiefälle von Kindern im Alter von wenigen Tagen bis zu 10 Jahren, wogegen die von uns durchgemusterten Wirbelsäulen von 13- bis 18jährigen Jugendlichen stammen. Die eigenen Ergebnisse können somit nicht ohne weiteres mit den Befunden von Moser verglichen werden. Deshalb stützen sich unsere Stellungnahmen ausschliesslich auf die vorliegenden Untersuchungen.

Die Krümmungsverhältnisse haben wir nach den seitlichen Röntgenaufnahmen der herauspräparierten Leichenwirbelsäulen bestimmt. Eine bei der Sektion freigelegte, isolierte Wirbelsäule nimmt eine Haltung ein, die derjenigen eines aufrechtstehenden Menschen bei entspannter Muskulatur entspricht [Güntz, 1957]. Die Unterteilung der Wirbelsäule in

ventral- und dorsal-konvexe Biegungen sowie dazwischenliegende gerade Übergangsstücke [Raspe und Heine, 1957] ist daher gerechtfertigt.

Um einen Anhaltspunkt für die *Genauigkeit der Messmethode* zu erhalten, haben wir eine bestimmte Wachstumszone 10mal ausgemessen. Die Maximalabweichungen vom Mittelwert dieser Probemessungen betragen bei der Bestimmung des prozentualen Anteiles der Summe der Chondronbreiten am Abschlussplattendurchmesser $+8,7$ und $-8,0\%$, bei der Höhenmessung $+5,6$ und $-4,6\%$ (Mittelwert = 100%), die Standardabweichungen $\pm 5,5$ bzw. $\pm 3,3\%$. Ähnliche Streuungen dürften wohl bei allen ausgewerteten Schnittpräparaten vorkommen. Sie sind bei der Höhenmessung in erster Linie durch die unterschiedliche Form und Grösse der einzelnen Knorpelzellgruppen bedingt. Die Streuung bei den Prozentanteilen der Chondrone beruht ebenfalls auf der unregelmässigen Form der Chondrone, ferner auf der Addition von vielen Dutzend Breitenwerten der Zellgruppen einer Wachstumszone (vgl. «Bestimmung der Grösse der Wachstumszone», p. 3).

Bedeutend einfacher als das Ausmessen der einzelnen Chondrone, wofür wir uns entschieden haben, wäre die Höhenbestimmung der ganzen Wachstumszone von der knöchernen Abschlussplatte bis zur Grenze zwischen ruhendem und Wachstumsknorpel (Abb. 2). Durch das Festlegen von Höhe und Breite der Knorpelzellgruppen erhalten wir jedoch einen Hinweis auf die Zellzahl, die durch direktes Auszählen praktisch nicht bestimmt werden könnte: Mit der Höhe und Breite lässt sich im Schnittpräparat die Fläche der Chondrone berechnen. Pro Flächeneinheit liegen immer etwa gleich viele Knorpelzellen vor. Die Fläche bzw. die Höhe und Breite der Chondrone ist also direkt proportional zur Zellzahl. Diese ist

Ausdruck für die Aktivität des Wachstumsknorpels. Daher hat das Ausmessen der Zellgruppen seine Bedeutung.

Nach den vorliegenden Untersuchungen sind die Wachstumszonen der Grundplatten im Bereich der ventral-konvexen Biegungen (Hals- und Lendenwirbelsäule) sowie im oberen geraden Übergangsstück kräftiger ausgebildet als die der Deckplatten. Im dorsal-konvexen Brustabschnitt sowie im unteren geraden Übergangsstück sind dagegen die Wachstumszonen der Deckplatten grösser als in den Grundplatten (Abb. 3). Die Grössenunterschiede betragen bei der Bestimmung des prozentualen Anteils der Summe aller Zellgruppenbreiten am Abschlussplattendurchmesser $2,5-5,6\%$, bei der Höhenmessung $4,8-14,1\ \mu\text{m}$ (Tab. I). Im zervikalen und thorakalen Bereich sind die Prozent- und Höhenwerte, in der Lendenwirbelsäule nur die Höhenwerte von Grund- und Deckplattenwachstumszonen statistisch signifikant verschieden. Eine geringe Signifikanz besteht bei den Messungen im oberen, keine im unteren geraden Übergangsstück sowie bei den Prozentanteilen der Chondrone im lumbalen Bereich. Der Grund für die verschieden starke Entwicklung der Wachstumszonen in Grund- und Deckplatten ist unklar. Die Ergebnisse könnten aber darauf hinweisen, dass sich der Ossifikationsvorgang in den Grund- und Deckplatten verschieden stark abspielt. Bei grösserer Ausdehnung der Wachstumsschicht ist eine ausgeprägtere Grössenzunahme der Wirbelkörper zu erwarten. Für diese Auffassung sprechen die Befunde bei Erkrankungen mit Hemmung der enchondralen Ossifikation, nämlich bei der Chondrodysplasie (Achondroplasie), ferner beim Hypopituitarismus. Bei diesen Systemerkrankungen ist die Wachstumsschicht der betroffenen Knorpelwucherungszone verkürzt. Bei den vorliegenden Untersuchungen könnte die un-

terschiedliche Entwicklung der enchondralen Wachstumsschicht dafür sprechen, dass das Wachstum der Wirbelkörper im ventral-konvexen Hals- und Lendenabschnitt vor allem in den Grundplatten, im dorsalkonvexen Brustabschnitt dagegen besonders in den Deckplatten erfolgt. Ob Zusammenhänge zwischen der unterschiedlichen Ausbildung der Wachstumszonen in Grund- und Deckplatten und den physiologischen Krümmungen der Wirbelsäule bestehen, kann nicht gesagt werden. Dagegen könnte die beobachtete Zunahme der Höhenwerte der Wachstumszonen von zervikal nach lumbal die Grundlage für die Feststellung von *Mau* [zit. in *Schmorl*, 1968] darstellen, wonach das Wachstum der Wirbelkörper grösser ist, je weiter steisswärts ein Wirbel liegt.

Zusammenfassung

Bei 13 Wirbelsäulen von Jugendlichen, die im Alter von 13–18 Jahren gestorben waren, wurden anhand von 362 Schnittpräparaten die Höhe der Wachstumszonen ausgemessen und das Verhältnis «Summe der Breite aller Zellsäulen der Wachstumszone zum Wirbelkörperdurchmesser» bestimmt. In der Halswirbelsäule ist in den Grundplatten die Wachstumszone höher, ferner die errechnete Verhältniszahl grösser als in den Deckplatten. In der Brustwirbelsäule dagegen sind Höhe und Verhältniszahl in den Grundplatten geringer als in den Deckplatten. Die Lendenwirbelsäule zeigt, wie die ebenfalls ventral-konvexe Halswirbelsäule, in den Grundplatten signifikant höhere Wachstumszonen als in den Deckplatten, während bei der Verhältniszahl kein signifikanter Unterschied besteht. Die Ergebnisse könnten darauf hinweisen, dass das Höhenwachstum der Wirbelkörper im Bereich der Hals- und Lendenwirbelsäule in den Grundplatten stärker erfolgt als in den Deckplatten, in der Brustwirbelsäule dagegen in den Deckplatten kräftiger als in den Grundplatten. Ferner nimmt die Höhe der Wachstumszone von kranial nach kaudal zu, womit das steisswärts ausgeprägtere Wachstum der Wirbelkörper in Zusammenhang stehen könnte.

Literatur

- Arnold, H.: Eine röntgenologische Studie zum normalen Wachstum des Halswirbels (zugleich ein Deutungsversuch frühzeitiger Zervikalchondrose). *Z. ärztl. Fortbild.* 53: 74–78 (1959).
- Arkin, A. M. and Simon, N.: Radiation scoliosis – an experimental study. *J. Bone Jt Surg.* 32A: 396–401 (1950).
- Aufdermaur, M.: Zur Pathogenese der Scheuermannschen Krankheit. *Dt. med. Wschr.* 89: 73–76 (1964).
- Aufdermaur, M.: Die Scheuermannsche Adoleszentenkyphose. *Orthopäde* 2: 153–161 (1973).
- Aufdermaur, M.: Spinal injuries in juveniles. Necropsy findings in twelve cases. *J. Bone Jt Surg.* 56B: 513–519 (1974).
- Aufdermaur, M.: Bewegungsapparat; in Büchner und Grundmann Spezielle Pathologie; 5. Aufl., vol. 2, pp. 339–425 (Urban & Schwarzenberg, München 1975).
- Bucher, O.: Cytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen; 8. Aufl. (Huber, Bern 1973).
- Güntz, E.: Die Kyphose im Jugendalter; in *Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis*, vol. 2 (Hippokrates, Stuttgart 1957).
- Güntz, E.: Wirbelsäule und Becken in Ruhe und Bewegung; in *Handbuch der Orthopädie*, vol. 2, pp. 1–26 (Thieme, Stuttgart 1958).
- Haas, S. L.: Growth in length of the vertebrae. *Arch. Surg., Chicago* 38: 245–249 (1939a).
- Haas, S. L.: Experimental production of scoliosis. *J. Bone Jt Surg.* 21A: 963–968 (1939b).
- Knutson: zit. nach Schmorl, p. 8 (1968).
- Moser, H.: Experimentelle Untersuchungen an den Wachstumselementen der Wirbelsäule; in *Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis*, vol. 15, pp. 39–45 (Hippokrates, Stuttgart 1960).
- Nachlas, I. W. and Borden, J. N.: Experimental scoliosis – the role of the epiphysis. *Surgery Gynec. Obstet.* 90: 672–680 (1950).
- Pacher, W.: Operative Erzeugung einer Skoliose im Tierversuch; zit. nach Moser, p. 40 (1960).
- Pliess, G.: Bewegungsapparat; in *Doerr Organpathologie*, vol. 3, 8. 14–16 (Thieme, Stuttgart 1974).
- Raspe, R. und Heine, K. H.: Form und Haltung der Wirbelsäule in Röntgenganzaufnahmen; in *Zur funktionellen Pathologie und Therapie der Wirbelsäule*, vol. 1, pp. 59–104 (Verlag für praktische Medizin, Berlin-Grunewald 1957).

Schmorl, G.: fortgeführt von Junghanns, H.: Die gesunde und die kranke Wirbelsäule in Röntgenbild und Klinik; 5. Aufl. (Thieme, Stuttgart 1968).

Sobotta, J. und Becher, H.: Atlas der Anatomie des Menschen; 16. Aufl. (Urban & Schwarzenberg, München 1967).

Wittek, A.: Operative Behandlungsversuche der Skoliose; zit. nach Moser, p. 39 (1960).

Eingegangen: 12. Februar 1976

Franz Schwytzer, Assistenzarzt, Medizinische Klinik, Kantonsspital Luzern, CH-6004 Luzern (Schweiz)

